

防治路基病害經驗

鐵道部基本建設總局編



人民鐵道出版社

防治路基病害經驗

鐵道部基本建設总局編

人民鐵道出版社

一九六一年•北京

本書介紹全國鐵路基本建設系統和院校在過去幾年中防治路基病害的經驗，包括滑坡和崩塌以及各種防治路基病害的排水、支擋建築物的設計和施工經驗。

本書可供全國鐵路及其他有關部門工程地質、路基設計、施工和科學研究、教學人員參考用。

防治路基病害經驗

鐵道部基本建設局編

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第010號

新华书店科技发行所发行

各地新华书店經售

人民鐵道出版社印刷厂印

書号 1759 开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张 11 $\frac{1}{2}$ 字數 261千

1961年4月第1版

1961年1月第1版第1次印刷

印数 0,001—3,200冊 定价 10 1.55元

目 录

宝成铁路一号滑坡的勘测设计	第一设计院 (1)
崩塌地区的勘测设计	第一设计院 (9)
鹰厦铁路典型路基病害工点整治经验	福州铁路局设计事务所 (24)
南同蒲线一号滑坡介绍	第三设计院 (39)
石阳线某隧道洞口路堑滑坡及其处理	第四设计院 (43)
宝兰铁路黄土路基变形及防治问题	兰州铁路局科学技术研究所 (46)
宝成铁路二号滑坡的调查研究	铁道科学研究院路基土工研究室 (68)
崩塌现象及其形成的地质条件的初步探讨	唐山铁道学院 王繼光 (76)
宝成铁路整治三号滑坡工程施工经验	西安铁路局 (81)
防治滑坡的排水建筑物设计	第一设计院 (85)
防治路基病害的排水建筑物设计	第二设计院 (108)
防治坍方滑坡的支撑建筑物设计 (一)	第一设计院 (131)
防治坍方滑坡的支撑建筑物设计 (二)	第二设计院 (150)
明洞设计	第二设计院 (159)
柔性混凝土沉排的使用及其效果	第一设计院 (165)
宝成铁路高护墙施工经验	西安铁路局 (170)
宝成铁路土黄段几种整治路基病害建筑物的施工经验	成都铁路局 (184)

宝成铁路一号滑坡的勘测设计

第一设计院

一号滑坡是一个大型的老滑坡，宽约440米，上缘高出线路约210米；滑坡体的平均厚度达40多米；山坡上发生的裂缝距线路最远的为240米。这个滑坡曾给勘测设计和施工造成很大的困难，通过为时两年的整治，目前渐趋稳定，今将其情况介绍如下：

一、区域的地貌和地质

线路沿嘉陵江右岸古滑坡体阶地上通过，阶地高出河床约16~20米，宽28~40米；以15°~30°角倾向河边。线路左侧30~60米为嘉陵江边，江宽150~200米。修铁路以前，江的主流猛烈冲刷滑坡地区的河岸，河岸很不稳定；线路右侧山坡高达250米，最高处约500米。

山坡地表为砂粘土复盖，部分为块石堆积层及千枚岩露头。砂粘土厚1~25米，块石堆积层大部分介于砂粘土及千枚岩之间。线路左侧至河边为人工弃土，弃土下部分地区是砂粘土及碎石堆积层，弃土厚5~15米，河床为砾石、卵石土壤及沙砾等间互层，厚约15~20米。基本岩层为千枚岩。

1. 沙粘土：棕黄色，潮湿时稍带红色。成分以粘土颗粒为主，其次为石英、碳酸钙及云母等。不具层次；具大孔隙比0.58~0.87。在水中解体快，且放出大量气泡，干时成片状，加水能搓成1~3毫米的泥条，含有粒径2~20毫米的碳酸钙结核，遇盐酸起强烈的泡沸作用；部分夹有碎石及块石，成分为石灰岩，粒径10~1000毫米，约占10%。饱和水分时成悬浮状态，易于流动；失去水分时成片状剥落，半坚硬至流动的。

2. 块石：为山坡堆积层，主要是石灰岩块石，粒径一般1000~3000毫米，最大为7000毫米；富方解石脉，宽约1~10毫米，间距10~200毫米，成网状分布；夹沙粘土，占40%，沙粘土富钙质，易于溶解及水解；块石间多有钙质沉淀，部分侵蚀为空隙，宽约5~150毫米，致使地面有时发生陷穴及下沉现象。在块石与千枚岩的接触处，有钙质角砾岩及薄层石灰岩，厚约1~2米，均为尖灭层，此为分布不均的裂隙水所造成，稍湿至饱和，密实至中实的。

3. 砾石土壤：为近代沉积物，厚10~20米，颜色很杂；颗粒2~10毫米，约占50%；10~200毫米，占10%；其余为粗中细沙。成分以石英及石灰岩碎屑为主；其次为千枚岩及长石，夹有很少的花岗岩及其他变质岩；在山脚地区，夹有碎石及角砾土壤尖灭层，为山坡坍塌体，厚约1~10米，主要为千枚岩及石灰岩碎屑；中

等紧密至松散的，潮湿至饱和的。

4. 千枚岩：一般为银灰色，部分为灰绿色及黄褐色；风化深度为5~40米，节理发达而紊乱，小褶曲及错动亦多；由于岩层破碎，构造线并不显明。岩心一般成粉末及碎屑状。在风化层以下，为深灰色千枚岩，岩层较为完整，含有方晶黄铁矿。在风化带内，有火成岩侵入体，厚度约1~5米，其次石英脉亦较多，厚约5~200毫米。岩层均极破碎。

根据滑坡区的四十多个钻孔资料分析，山坡大孤石堆积很厚，山坡下部厚为20多米，中部厚40多米，上部则达60~70米；块石与块石之间常有空洞。堆积层下有一层被严重挤压的风化千枚岩残积带，厚约5~6米，已风化成碎石或角砾，甚至泥土状，因受水侵蚀，岩性非常软弱。

基岩面等高线图上显示出西半部呈凹槽状，而地表正是凸出山头，即所谓“反置地形”。东半部的基岩面则较平顺，与山坡大致一致。基岩面倾向线路。在滑坡西半部，距线路150~200米以内，其坡度是17°左右，再上为13°左右。在东部，一般在靠近线路处的基岩面是20°左右；150~200米以外为7~10°。基岩面在线路外近河边处形成陡坎。

本区的地下水较为发达。从钻孔中了解，一般堆积层中有2~3层地下水，愈近线路堆积层中水的层次愈多；在中部和上部，在风化岩层挤压破碎带面上，有一层水量不大的地下水。足见地下水的活动极不规则，方向亦不一致，一般均为裂隙水。地区内共有地下水露头25处，总流量每昼夜为167.5吨，其中18处为永久性或半永久性的；7处为暂时性的。详见表1。

山坡上部地形低洼之处共有浸水湿地10处，见表2。

二、滑坡变形情况

该段线路几乎全部为深挖。原线边坡高约30米；原设计边坡坡度为1:0.5，施工进行中，由于边坡经常坍塌，经改变设计，砂粘土边坡坡度为1:1.5；千枚岩边坡坡度为1:1。在施工过程中，由于边坡的开挖逐渐增大、增高，山体失去平衡，山坡上发生裂缝，土体下沉，产生垂直位移；在路基边坡脚下，常有拥起与滑走现象，至1956年3月，垂直错距达2.5~4.4米，倾角为57~68°。孤石堆积亦开裂，形成山坡上到处纵横开裂，局部坍塌。

从裂缝形状分析，东西两部是截然不同的，西边是环裂，而且较远的裂缝先出现；然后在大裂缝范围以内发生大致互相垂直的纵横裂缝并下陷，这显然是滑坡现象；在东半部山坡上虽然有古滑坡阶地，但裂缝是先在建坡顶附近出现，再向上发展，并且裂缝密而浅，这是由于开挖边坡过陡而发生的堆塌现象。

在开挖路堑过程中，边坡出现地下水露头多处，开挖到那一深度即在那一深度堆积层的坡脚发生滑面，并形成路基拥起。

1956年3月决定改线，将线路靠河移动16~17米；并拟将上部减重，回填下部已开挖部分；另修一段挡土墙，在墙后加设支撑盲沟。同时加紧勘探工作，搞清地

下水的情况，以便設計排除地下水的建筑物。雨季中，这些工作尚未作完，而裂縫已急速发展。

地下水露头一覽表

表 1

順 号	时 間	流 量 (吨/昼夜)	附 注
1	×	5.0	水由砂粘土流出，含水层千枚岩
2	•	0.1	由砂粘土滲出水，水源为地下水及雨水
3	×	0.3	砂粘土及块石堆积层間出水
4	×	1.5	堆积层出水地表为砂粘土
5	×	5.0	水由裂隙流出，水源为地下水
6	•	5.0	砂粘土出水，面积约2000平方米，水源为雨水
7	•	4.3	千枚岩及砂粘土之間滲出水
8	×	1.5	千枚岩出水，主要水源为地下水
9	•	0.3	堆积层及千枚岩之間出水
10	×	86.0	块石及千枚岩之間出水水源为地下水，含水层为风化千枚岩
11	×	7.0	”
12	×	2.5	”
13	×	1.4	”
14	×	7.5	”
15	×	9.0	”
16	×	6.0	”
17	×	5.0 ¹	”
18	×	2.5	水从块石裂隙流出，带有泥浆，水源为地下水，含水层为千枚岩
19	×	6.6	”
20	×	2.5	”
21	×	2.5	”
22	×	1.5	”
23	•	1.0	”
24	•	1.5	水由千枚岩裂隙出来，含水层为千枚岩
25	•	2.0	由砂粘土中滲出水，水源为地下水及雨水

注：時間栏內×代表永久性的或雨后一月左右还有流量的水；

•代表暂时性水或雨后20天則无流量的水。

浸水湿地表

表 2

順 号	时 間	范 围 (m ²)	附 注
1	•	30×40=1200	砂粘土及块石堆积，水源为地下水
2	•	70×100=7000	砂粘土及千枚岩风化层，水源主要为地下水，部分为雨水
3	×	150×80=12000	砂粘土水源主要为雨水，雨后地表成流动状态，有泥浆流出
4	•	270×20=5400	千枚岩及块石堆积水源主要为地下水，雨后有泥浆流出，地下水露头計有15处流量总計为153.64 吨/昼夜
5	×	40×50=2000	砂粘土，水源主要为雨水及部分地下水，雨后地表成流动状态
6	•	15×10=150	砂粘土，水源主要为地下水，并有部分雨水补給。
7	×	10×20=200	千枚岩，水源为地下水及雨水
8	×	10×20=200	砂粘土，主要为雨水及部分地下水
9	•	6×10=60	砂粘土，水源为地下水
10	•	6×4=24	”

附注：順序号內有×者为暂时性水（即雨后20天以內就无水）；

有•者为永久性水或時間延續雨后20天至30天还有流量的。

滑坡裂縫发生和发展的情况詳見表 3。

表 3

順 号	日 期	发 展 情 况
1	1955年 8 月	第一次发现了微小的裂縫
	1955年11月	曾发生坍方
	1956年 2 月上旬	路基面拥起
	1956年3月4日	縫增寬10~30mm, 长10m
	1956年4月22日	寬300mm, 深約5m处 傾角90~49°, 傾向南27°~17°西
	1956年5月23日	經检查結果未变动
	1956年6月4日至6月23日	因降大雨, 边坡发生大量流泥, 同时引起滑坡沿千枚岩层滑动, 严重威胁綫路, 縫的总垂直位移200~3500mm, 水平位移1000~2600mm, 破裂壁90度~68度
	1956年7月25日	裂縫很乱, 坡面成波浪形, 間距約3~8m, 最大的縫寬200mm; 垂直位移1800mm, 深約1000mm, 繼續向上发展, 可能达綫路右侧120m处
2	1956年8月16日	第一次发现裂縫长14.7m, 寬10~20mm
3	1955年12月至1956年2月	初发现微小的裂縫, 长10m, 寬30mm
	1956年4月17日	寬600mm, 总滑距800mm, 傾角64~90度, 傾向南24°西, 深大于5000mm
	1956年5月	曾夯实
	1956年5月27日	检查夯实土重裂, 下沉200~300mm, 計总寬700~1500mm, 垂直位移約1100mm; 并有深1500mm, 直径1000mm的空洞
	1956年6月4日至6月23日	寬1500~3300mm, 位移1500~3100mm, 滑坡界綫显明
	1956年8月10日	总位移3500mm
	1956年8月10日	因下部刷方, 始发现有裂縫, 长18.9m, 寬5~10mm
	1956年8月16日	雨后检查寬至200mm
5	1956年2月18日	在边坡頂发现3mm的裂縫
	1956年3月4日	寬20mm
	1956年4月9日	縫寬270mm, 傾角77~67度, 傾向南56度西, 深4.0~5.1m处寬90mm, 擦痕明显
	1956年4月	裂縫全部夯实
	1956年5月23日	下沉100mm, 寬370mm, 垂直位移400mm
	1956年6月4日~23日	寬600mm, 垂直位移900mm
	1956年8月10日	总位移2700mm, 垂直錯距2300mm, 水平錯距900mm, 縫寬200mm
6	1956年6月10日	裂縫不明显, 只有下沉現象, 位移500mm, 寬200mm
	1956年6月23日	裂縫发展很乱, 主要为4条, 一条方向北16度西, 其余三条方向北73°东。前者垂直錯距1700mm, 寬1500mm, 深約3000mm; 后者互相間隔5000及7000mm, 寬1500、600及2000mm, 深約6000、8000及3000mm, 均系石灰岩节理裂开, 基底外側懸空
	1956年8月10日	北73°东的三条裂縫按前次序, 寬4000、3500及5000mm, 深10及3m
7	1956年2月18日	縫寬2~3mm
	1956年2月20日	寬30mm, 垂直位移20~30mm
	1956年2月29日	該处綫路有拥起, 高127mm
	1956年4月16日	寬250mm, 深5m处寬20mm, 傾角約61~90°
	1956年4月	曾夯实过
	1956年5月23日	夯土下沉200~300mm, 寬450mm, 从側面看見內有洞, 寬700~900mm, 高1500~2000mm, 地表复有500mm土

續表 3

順 号	日 期	发 展 情 况
8	1956年6月4日	因天雨,地表沉落填死裂縫,最寬处3000mm,垂直位移300mm,两端分成若干条,各寬300~500mm,間距約 600~1000mm,情况恶化,边坡开裂,夾帶大量泥滑至軌边
	1956年8月10日	刷方后无法繼續观测
	1955年12月下旬	裂縫寬3~4mm,长10m
	1956年3月15日	寬10~30mm,垂直位移500~600mm
	1956年4月9日	深0~3.5m处,裂縫寬100~500mm;深3.5~5m处,寬 50~100mm;深5.0m以下,寬約 10mm。方向南65度西,深0~2.5m处傾角90°;深2.5~4.4m处傾角68°,深4.4m以下傾角为57°
	1956年4月底	全部夯实
	1956年5月23日	夯土下沉100mm,裂縫寬1300mm,引起附近东面2.5~3.0m处大块石坍下
	1956年8月10日	已刷方,无法測得

嗣后,約有五万立方米的土体,自距綫路 150 米以外、高約80米处由上向下滑动,破裂壁高至十数米,滑坡下緣土体坍塌一千多立方米,并将滑坡体下已风化或角砾状和泥土状的干枚岩挤出。雨季以后,由于在坡脚大量开挖擋土牆基础及开挖支撑盲沟,致使已滑动的部分又活动起来,已夯填的裂縫又复开裂 0.2 米寬,并下陷 0.3 米。最后,这一大块滑动体又滑动了一次,并将长24米、厚 7 米、高 8 米的一段抗滑擋土牆剪断。

三、測繪与勘探

自从山坡上大量出現裂縫,边坡坡脚不断拥起和移动之后,滑坡現象已很明显,但它究竟是什么性質,滑坡面的位置和形状以及地下水的情况又怎样呢?为了查明促使它发生和发展的各种因素,以便采取正确的处理措施,我們开展了滑坡的調查与勘探工作。但因当时宝成路工期很紧,所以不得不同时进行勘测設計和施工,对于这一滑坡的調查,概括可以分为以下几项工作:

1. 地形測量

作为水文地質及工程地質測繪的基础,首先測繪了滑坡区大比例尺的地形图(1/500),其范围包括整个滑坡区,上至基岩陡壁,下至河边,左右包括滑坡体外的两道冲沟。在这图上詳細注明以下内容:

- (1) 陡坎,即使是 1 米高的小陡坎也表示出来;
- (2) 裂縫,注明开裂情况,平面形状,开裂日期等;
- (3) 湿地及低洼之处;
- (4) 地下水露头、井泉等位置;
- (5) 地表植物复盖情况及耕地等;
- (6) 已成建筑物,如填方坡脚、挖方壑頂、排水沟、擋土牆等;
- (7) 自然沟渠,小沟也要繪出沟心的位置;

(8) 坡面上的自然坍塌的位置。

2. 地质调查及访问

除作前述地区的地貌、地层层序、岩性构造、地下水的露头、湿地及山坡上的裂缝的调查以外。经访问居民得知，此处原为一村庄，相传在明朝时，由于一次连降大雨及河岸受冲刷，山体滑下，将村庄掩埋。修路以前这一带在雨季时经常有小坍塌。在开挖路暂时曾挖出砖瓦、房屋基石及石磨子等，也证明这一带从前是发生过大滑坡现象的。

3. 挖探

挖探主要是用来查明裂缝的倾角和深度。根据过去经验，裂缝宽而浅、倾角小的可能是浅滑现象；反之，就可能是深层移动的现象。所以我们对于山坡上所发生的裂缝都进行了挖探，查明了深度和倾斜度，从而判断滑坡移动的主要部分。其次是用挖探来了解地下水露头处或湿地处水的来源，查明它是由岩层中、堆积层中或土壤中渗流出来的。

4. 鑽探

在这个滑坡区共鑽探了45个鑽孔。鑽探的目的主要是：

(1) 查明工程地质测绘工作所不能了解到的问题，如地层层序及各层在各地的厚度，各个位置的岩性，基本岩层风化程度以及层位要素和埋藏情况等；

(2) 查明滑动面的位置及其形状，并在滑坡面附近采取原状试件进行试验，以求得设计计算的必要数据；

(3) 寻求地下水的性质、埋藏深度、层次、水量、流速、流向；

(4) 根据鑽探结果，绘制基本岩层等高线图，证明了滑坡体的主要部分正是基本岩层的凹槽处；

(5) 查明抗滑挡土墙的基底地质情况，并取原状试件进行试验，判定了各段的承载能力及墙基埋置深度；

(6) 查明可能开挖洩水隧洞处的地质纵断面，提供设计隧洞的正确位置和坡度。

5. 电探

电探在这一工点上，没有发挥很好的效果，虽然在开始时曾根据鑽孔测定电阻率参数，但进行后所测得的电阻率曲线仍然很难解释，这是因为地形陡，不能拉很长的基线；另外由于大块石堆积层中多空洞，以致造成电极接地不良。所以电探在探测复盖层的厚度和探测地下水分布范围时，都没有得到很好的效果。

6. 观测工作

观测工作，分为：观测裂缝的发生和发展，观测滑坡移动的速度和方向，和观测所有地下水露头水量的变化等。当山坡上发生裂缝时，我们即要求施工人员将裂缝旁填，并经常观测它是否重新开裂。尤其在每次雨后特别应注意巡查，看是否有新的裂缝发生。如有发现，即记录其长度、宽度和下陷的情况，并挖探其深度及倾斜度。观测滑坡体的移动方向和速度，是以方格观测网进行的。观测结果查明滑动方

向大致与綫路垂直,并略向略阳方向偏斜;移动速度則与开挖路塹进度有直接关系,开挖愈深則滑动愈快,但与季节关系不大,这可能是地下水的来源比較远,所以露头多半是常年有水流的。地下水露头观测結果是愈靠近綫路的,其水量愈大,并多数是永久性的;在山坡上部的則往往水量不大,并在雨后20天至一个月以后即干涸。

7. 繪制大比例尺地質图,基本岩层等高綫图,工程地質剖面图

根据以上各种工作的成果,繪制了該工点的大比例尺的地質图,基本岩层等高綫图,十个工程地質剖面图,其中包括擋土墙基底的地質剖面 and 洩水隧洞的地質剖面,作为設計处理措施的必要資料。

四、勘测結論

1. 滑坡原因的分析

根据下列情况分析,本地区是一个数十米厚的老滑坡,是堆积层沿基本岩层面滑动过的老滑坡,但目前仅是老滑坡体的局部复活。

(1) 山坡的地貌是波浪式的,有若干級台阶,每层阶地的地层层序均为上复不厚的砂粘土,下部为大块石堆积,显然可以判定都是滑坡台阶;滑坡的两端有較大的冲沟;滑坡前端有許多常年不断的地下水露头;在附近河谷中也没有与它高度大致相同的冲积或侵蚀台地。

(2) 从鑽探的結果分析,堆积层直接复盖在风化千枚岩的挤压破碎带之上,并未发现有底砾石层;地表凸出之处正是基本岩层的凹槽;基本岩层面傾向河谷,傾角較陡($13 \sim 20^\circ$);堆积层比較松散,且有空洞,为地下水良好通路;下部基岩已风化成泥土状,不易透水,因而地下水即在基岩层面上活动。

(3) 修路以前,河的主流猛烈冲刷河岸,河岸极不稳定。

(4) 据調查訪問,几百年前曾发生过大滑坡,并将村庄掩埋。

2. 滑坡复活的主要原因

(1) 开挖路塹,爆炸采石,使老滑坡失去平衡;

(2) 地表多为耕地,雨水易于渗入地下,同时千枚岩风化严重,表面已成粘土,經常受地下水的潜蚀作用,抗剪力逐渐减弱;

(3) 山坡开裂后,雨水乘机大量流入滑坡体,促进滑动面的冲蚀作用,同时雨水的渗入增加了滑动体的容重,并产生动水压力,有力的促使滑动;

(4) 施工时不完全自上而下的开挖,和开挖擋墙基础的地段过长,未加牢固支撑,都在一定程度上影响滑坡体的稳定。

3. 滑动面的确定

根据地层情况来看,地表的砂粘土是軟弱层,但它的厚度不大,不可能发生这样大規模的滑坡,所以判定主要的滑动面应该不是在沙粘土层中,其下的大块石堆积,粒徑大至数米,且有十至二十米的,中間并无夹层,也不会产生滑动面。唯一可能滑动的地层为基岩面上一层5~6米的风化已成泥土的千枚岩。在几个鑽孔中

亦証明在这一层上部地下水較丰富，开挖擋墙基础时，地下水大量在这一层面上涌出，并且发生过滑动。根据基岩等高綫图来看，地下凹槽也与滑坡体的主要部位吻合。这些情况使我們有充分根据判定滑动面为堆积层与基本岩层的接触面。

4. 滑坡带上綜合摩阻系数的确定

滑坡带上的綜合摩阻系数是檢算滑坡的主要数据。在这个工点，由于滑坡带的土壤含有角砾，不能作抗剪試驗。我們曾作了六处滑坡泥的顆粒分析，分析結果列于表4。

表 4

順 号	深度 (m)	顆 粒 粒 径 (mm)							含水量	天 然 容 重
		≥20	10	5	2	1	0.5	≤0.5		
1	3.0	6.1	11.2	16.0	8.6	11.2	8.8	37.9	11.1%	2.04
2	2.2	5.65	6.81	10.82	9.22	10.13	8.15	48.75	16.9%	2.16
3	3.0	10.39	8.19	0.59	13.03	7.69	5.16	54.90		
4	1.0	3.76	6.93	10.69	9.64	13.0	13.88	42.80	15.3%	2.17
5	0.5	7.7	7.83	11.7	10.8	11.30	5.84	44.4	20 %	1.96
6	0.2	4.05	4.43	9.85	8.6	10.52	9.52	52.4	12.5%	2.22

根据表4分析， $\geq 0.5mm$ 的顆粒占45.1%~57.2%，粉粒占51.9%~42.8%；因而按照粉粒及 $\geq 0.5mm$ 顆粒各占50%，估計在不同含水情况下的內摩阻系数为 $f = 0.28 \sim 0.36^*$ 。

五、处理滑坡的原則、具体措施及其效果

1. 处理原則

这一滑坡的体积巨大（估計有80多万立方米），并有滑坡移动而引起的大規模崩塌。由于滑坡面下部的坡度陡于上部的坡度，所以它是牵引式的，以往的三次移动，只不过是老滑坡的前緣部分，这一部分滑动发展是快的，随时有发生急剧滑下的可能。如果这一部分滑下，可能促使整个老滑坡复活。为了避免造成这种情况，所以采用立即支撑的办法，即尽快的修建抗滑擋土墙和墙后的支撑盲沟，并尽可能防止水的浸入或滲到滑坡体中。至于根治的措施則是設法截住地下水，并排除于滑坡范围以外。

2. 具体措施

(1) 將綫路靠河移动，現行綫已較原綫偏左17~21米；

(2) 在滑坡脚下修建了抗滑擋土墙；

(3) 擋土墙后修建了平行于擋墙的盲沟，在边坡出水处修建了垂直擋墙的支撑盲沟，盲沟基础下到稳固的基本岩层以內；

(4) 在大滑坡体的上部修建了环形截水沟，在变形的部分以上修了人字形的

*參閱“土体坍塌原因及其防治方法”一書，苏联 A. M. Фролов 著，周鏡等譯，人民铁道出版社出版，1956年。

排水沟，在山坡泉水湿地处修了引水工程；

(5) 在山坡低洼处禁止耕种，并整平地表加以夯实；

(6) 在已变形的滑坡体的上部开挖了一道洩水隧洞；

(7) 在滑坡的上游，沿江岸修建了順水坝，导使江水的主流远离滑坡处的河岸，以免冲刷。

3. 工程效果

这些工程陆續完成后，效果显著，經過两个雨季未发现山坡上有重大变形，滑坡体已日趋稳定。值得一提的是洩水隧洞开挖的成功。这个洩水隧洞原来是作为临时性的，还未加永久性的襯砌；但自开挖后每日排出的水量約为70立方米，隧洞以下的地下水露头均已干涸。能将这些地下水在它渗到变形的滑坡体内以前排走，对于滑坡的稳定是有决定性作用的。

崩塌地区的勘测設計

第一設計院

随着祖国社会主义建設事业飞跃地向前发展，铁路新綫的修筑亦相应地加速进行。为了實現祖国宏偉的铁路网规划，工程地质工作者的任务是艰巨的。在山岳峡谷地区进行铁路勘测时，经常会遇到很多不良物理地质现象。西北地区由于山区的地质构造非常复杂，河流割切剧烈，气候干燥、少雨，日温度差变化很大，夏季和冬季的温度一般常由 $+39^{\circ}\text{C}$ 变化到 -29°C 。在祁連山和賀兰山一带，因属祁呂賀“山”字大构造的一部分，故构造活动性很大，地震现象頻繁，以致岩层破碎、断裂，岩石风化严重。因此这一带峡谷地区广泛地分布着崩塌和岩堆等不良物理地质现象。它对铁路选綫和工程建筑来说，是一个严重的障碍和值得注意的问题。

大家知道，崩塌时各种因素对岩石崩裂运动及性质的影响具有非常复杂的作用，因而在設計处理时就异常难以估計。崩塌前山体的稳定、变形前的准备阶段及崩塌变形中的数量与墜石情形，也是十分复杂，不易推断准确，故单纯依靠理論性研究和計算，还不能正确的解决防崩建筑物的設計，和正确的决定保証綫路运营中安全的其他措施。因此地质工作者对崩塌需要寻找类似情形，帮助推断；对墜石也要做些必要的現場試驗，以供設計时的参考。誠如H·M·罗依尼什維里研究指出：“在理論上分析了能够解决岩石崩塌时岩层变化的問題以后，如果不作出上述的最大可能符合实际岩石崩塌的實驗性的研究，就不能得出完全令人滿意的結果。”这一結論，也就指出大自然是最好的試驗室。在施工开挖前或在外业勘测选綫时，应就自然山坡的现实情况，作一些野外試驗，对岩石的墜落需要經過比較全面的观察，实际調查研究影响岩层变化的各种因素，只有在这样的基础上，选择綫路在平面上的位置，并搜集免于受崩塌破坏的防崩建筑物的原始資料，是具有莫大的实际意义的。

其次，关于崩塌发生的规模及危害性是有大小不同的。从个别岩石坠落毁坏列车、钢轨和枕木，或损伤建筑物到数量巨大毁坏整个居民点及掩埋公路、铁路，甚至有时由于崩塌物数量庞大，致使河流堵塞，引起水流泛滥，形成永久性或临时性的湖泊。据县志载，宝成线吴王城就曾因崩塌使嘉陵江断流。在宝成、宝兰等铁路修建时，就有崩塌伤及列车、钢轨、枕木和路基，也有掩埋路基，也有砸坏挡石墙及明洞的。因此要求在外业选线时首先从线路上要分别对待，正确的确定线路通过的位置，然后从实际出发选择正确的处理措施和设计防崩建筑物。

一、对崩塌现象的几点概念

1. 崩塌的含义

在陡峻斜坡上，个别岩块或巨石顺斜坡向下倾倒、崩落、翻滚和跳跃，并引起岩石破裂的现象称为崩塌。崩塌体（岩块或巨石）的移动往往是突然发生的，但也有长期的准备过程。岩层和块石在运动时，相互位置的变动，系围绕本身的重心产生转动，冲击撞碎，有时是跳跃式前进。

崩塌不同于岩堆。岩堆是由于斜坡表面的岩石受风化后，产生碎屑、碎块等的较小颗粒，由于自重作用不能停积在陡峻的坡面上，而沿斜坡向下移动或滚动，并在移动过程中进行分选压实，散落在斜坡脚下，按照组成物的性质和颗粒大小，形成各种天然边坡角的堆积体。所以岩堆的堆积体要经过一定的分选作用。而崩塌的堆积体一般是大者在下，崩落较远，分选性差，且碎块是杂乱堆积的。

崩塌也不同于滑坡。滑坡是具有联结性的巨大土体，在重力作用下沿一定的面或带向下滑动的现象。一般运动过程是缓慢的。土体在滑动过程中，大部分并不翻倒，且相互位置不变，只有个别地区的表面土体有顺山坡发生倾倒式的移动。

2. 形成崩塌的条件

崩塌常常发生于陡峻的山坡和河岸处。其产生原因为：各种不同大小的岩块，由于风化作用、构造力作用或温度的变化，使之与原地的母岩分离，失去了稳定性。致使破裂成块的岩块急剧地顺斜坡向下翻落、滚动，形成崩塌。引起不稳定岩块发生破坏的主要因素是水、冰、地震、温度变化或列车震动等的作用。在变形时，它也如雪崩一样。由于迅速向前移动，而形成的气流，致有巨大的破坏力。但在西北地区进行实地测绘调查工作时，应如何具体结合当地区域条件和自然地理环境，来掌握这一区域内崩塌的生成条件是具有实际意义的。兹分述如下：

（1）崩塌的形成与自然地理因素的关系——气候分带是随不同纬度与海拔高度而异的。某些物理地质现象，对于气候分带是具有很大的从属性的。因此在各气候分带内的物理地质作用就各具特点了。总的来说，西北地区是属大陆性气候，为“干旱带”。由于湿度小，年总降雨量小（一般为10~600毫米），但常降暴雨等，而为岩石受物理机械破坏作用创造了有利条件。例如祁连山和贺兰山区，即因岩层受干燥气候与日温度差变化大等的影响，其物理风化作用特别剧烈，故崩塌和岩堆现象特别发育。又如兰新铁路茂岭一带，解放后新挖的花岗岩路堑，也不过才五、

六年的时间，岩石表面已逐渐形成破碎。并有碎落和局部掉石现象。

(2) 崩塌的形成与构造和地震烈度的关系——地质构造上的断裂，往往是岩层遭受破坏和继续破坏最直接和最主要的因素。即如祁连山区，它是海西褶皱带的基底，为一复杂的复背斜与复向斜构造区。历经多次造山运动的影响，火山喷发活动，特别是第三纪中期造山运动形成的断裂构造很多，是崩塌发育的有利条件；又如贺兰山区是燕山造山运动期的褶皱带。东接临夏地堑，西接阿拉善地块，与祁连山一同构成祁吕贺“山”字构造的前弧和脊柱。许多有关新构造运动的文献都提到上述山区目前仍有上升的现象。均说明这一地区构造活动性很大，对崩塌的形成是具备了良好的条件。这些山区中构造活动性大，分布有几处震源，因之地震现象也频繁，有些地段地震烈度已高达8~9级，我们到处可见岩层有断裂、破碎现象。因此遍及西北祁连山区和贺兰山区的断层破碎地带多，崩塌、岩堆特别发育，是有地质构造上和地震烈度高的先天性的。

(3) 崩塌的形成与斜坡陡度和高度的关系——在评定崩塌发生的工程地质条件时，必须认识到斜坡的陡度和高度，它是形成崩塌现象的必要条件。坡面陡，高度大，则岩石稳定性差。有了水流作用和地下水的活动就更会促进发生崩塌的。在我们遇到的所有崩塌中，几乎山坡坡度都是介乎60°~90°之间，高度往往超过一百米至几百米，而且大都是在峡谷地区。当然高台地的边缘也见到有崩塌现象，但是较少。按国外的统计资料，崩塌，特别是大型崩塌也是发生在幼年陡峻的山系之中。

(4) 崩塌的形成与岩层性质的关系——按我们的经历来说，陡峻山岳多为硬质岩层所组成。岩层的风化剥落和崩塌并不是截然分开的，在崩塌前后，总是伴随了相当长时间的风化剥落。从堆积体上调查和分析，堆积物排列和堆叠过程，可以推断堆积体的形成过程有不少是岩堆和崩塌现象交互产生的。从近代和古老崩塌堆积体上常见到是属于厚层的石灰岩、砾岩、砂岩、硬质页岩和石英岩，尤其是发生在厚层硬质岩石复盖在软质岩石之上。而崩塌地区多发生在软质岩石和硬质岩石互层的陡壁附近，或是具球形节理的硬质岩石如石灰岩地段，一般喷出岩，如玢岩、玄武岩和具有较发育的垂直节理的花岗岩类，也有崩塌发生，但是所见不多。在变质岩中，只有在网状或弧形节理割裂的地方，片理和节理产状不利，倾向山坡时，个别岩体也是易于发生崩塌的。

3. 关于崩塌堆积物形成的一般特点

崩塌形成后即在陡坡脚下形成了一个主要是由大块石组成的堆积体。堆积体可由一次崩塌形成，也可由多次崩塌形成。崩塌堆积体的数量，视崩塌数量的大小而定。由于崩塌是一种岩体突然发生的倾倒之剧烈运动，因而形成堆积的过程也是急剧的。这就决定了这种类型的堆积体松散、杂乱和多空洞的特性。虽然有些大块石是在下部坡脚，但总是分选性是很差的。

在一次大崩塌发生之后，母岩表层遭受了剧烈的破坏，因而新的岩壁也是十分破碎和不稳定。随着各种自然因素的作用，继续风化，所以在崩塌后的相当长的时间内还不断发生小型崩塌、个别块石坠落和剥落的现象。从较多的堆积体上，常

可見到大块石之間及上部有一层較細的碎石和碎屑物薄薄的填充和复盖着。

在崩墜过程中，大块石的重量大，因而冲力也大。自陡坡墜下、滾下遇到凸形的坡面时，由碰击而跳跃，所以滾落較远；而小块石冲力小，易被坡面上的草、灌木和較大的块石所拦截，所以滾落不远。因此在堆积体的底部及較远的坡脚处，見到的是大块石，而頂部和表层多是碎石和碎屑。

其次，由于堆积体本身的渗透能力大，地表水流对它所起的搬运作用小。块石也只能依靠崩墜的动能发生滾动，到达一定的斜坡角度或受阻时才終止滾动。按块石的大小、形状和母岩斜坡与高度等地貌、地形特征形成一定的角度。所以說堆积体是有它的一般規律性的。

4. 崩墜块石运动速度和山坡坡度的关系

根据苏联H·M·罗依尼什維里和C·M·甫利什曼百数十次的野外試驗，对块石墜落情形的观察和測定的結果，将山坡坡度和块石滾动性質分为下列三种具代表性的地带。我們在現場所做不多的野外試驗中也証实了它的可靠性。

(1) 緩山坡，坡度由 $0^{\circ} \sim 28^{\circ}$ ，为块石墜落中主要的运动減速带——块石在此种坡度的山坡上，一般只在具有始程速度时，才能运动，但运动速度逐漸減低。当山坡有足够长度时，可以使运动終止。即使作跳跃式运动的块石也是逐漸停止跳跃轉为滾动，最后达到靜止。

(2) 陡山坡，坡度由 $28^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，甚至 60° ，为块石墜落中运动的加速带——沿此坡度的山坡即是沒有始程速度的块石也能运动。同时运动的速度是逐漸加大。块石是由微带跳跃式的滾动，随速度增大，山坡陡度和地形、地貌等性質的不同亦将以跳跃形式进行，跳跃次数亦逐漸增多。但在个别地段，也有由跳跃轉为滾动。仅当山坡緩于 40° 时，块石成減速运动，有时亦发生微弱的跳跃，甚至終止滾动，达靜止状态。

在陡坡上墜落的块石，一般是开始以跳跃式前进，逐漸轉变为滾动；然后又因坡面上的局部不平整而重新再跳跃，山坡某些显著的局部障碍，也可能使块石由运动变化到靜止。

(3) 极陡的山坡，坡度由 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，为块石墜落中带有冲击坡面的自由墜落地带——这种山坡上块石是不会停止运动的，它帶有自由落体的运动性質，碰击山坡后，再跳动。冲击次数随山坡高度陡度和有无突出部分而不同。

二、崩塌地区的工程地质勘测工作

崩塌地区的工程地质勘测工作，也和其他不良地质地区进行的勘测方法一样，以工程地质測繪为主，进行細致而深入的調查。由認識自然、了解自然，和研究分析影响崩塌的形成和发生以后的过程，以及促使其发展的各种条件、因素和作用，从而找到符合于实际的結論和与之作斗争的正确措施，这就是工程地质勘测工作的最終目的。茲将工作方法分述于下：

1. 对工程地质工作者的几点要求

(1) 須有关于崩塌方面的理論知識基础。尤以前面已經述及的几种不良物理

地質現象，如岩堆，滑坡等。崩塌的概念和特性必須搞清。

(2) 在現場不應局限于觀察工點範圍內的某些自然現象，而應將工點附近或整個地區內的類似現象加以了解和對比。這樣在該地區工作中，隨時不遺漏所遇到的現象，研究發生的地點、地貌和當地特征及其發生和周圍環境的關係，尋找正在進行的同類物理現象的過程與發展。當條件允許時，盡可能在野外作些實驗，據此以對比和推斷其發展情況。

(3) 對工點的地質和地貌特征，即使是微細地形均應逐一弄清。如台地、階梯、凸凹不平整等地貌，就要搞清楚它的形成，周圍環境，地質和水文地質條件，以及它們相互間的關係。要作到這些就要求工程地質工作者能經常細心地對每一碰到的問題毫不遺漏地進行調查研究和分析。

2. 崩塌地區工程地質測繪工作

為了掌握崩塌活動的規律，它對綫路的危害和採取正確的對策，在選綫之前，應先進行崩塌地區的工程地質調查。一般應作下列幾項工程地質測繪和調查：

(1) 要查明崩塌的範圍、性質、危害性和發展的可能性。為此需查明岩層性質，如岩層的強度、風化程度、抗風化和抗沖刷的能力及滲水程度等。

(2) 研究山谷及斜坡的地貌特征。如平坦的、階梯狀的，具有危石和懸岩的，有環狀凹處的表面粗糙不平等等。並說明其產生原因和形成歷史，目前物理地質作用的發展情況。

(3) 調查區域岩層的層理、節理系統及其產狀特征。裂隙風化過程和其他能標明岩層穩定和破壞性的一些特征，並闡明其在當地自然環境中的發展情況。

(4) 查明地下水、地表水的活動情況。植物復蓋層的組成和密度。

(5) 調查訪問崩塌發生的頻率，發生時間，其與人工及自然等因素的關係。

(6) 研究堆積層組成物的特征。

外業測繪時，一般先布置幾個地質路綫。在測繪過程中，將所遇到的現象一一填入圖中。如山坡上錯綜複雜的變形，崩塌範圍，斜坡陡坎，裂隙形狀和分布狀況等等現象，一個也不放過，同時還要詳細的作素描圖和記錄。

研究崩塌區域的地貌特征，特別是微細的地形、地貌具有很大的實際意義。在追索細微地貌產生的原因時，往往可以找出在崩塌發生以後，又出現了什麼其他現象。有時從研究微細地貌，如環狀凹陷和陡坎的分布狀況、數量，都有助於判明崩塌發生的周期性，每次發生的數量，危害範圍的大小等問題。這對於正確評定山坡的穩定性、安全運營條件和採用何種適當的措施來說，都是非常重要的。

研究崩塌發生的原因、速度、發展過程、發展的可能性、山坡的穩定程度，以及預測建築物受山體壓力的可能性，建築物將來的使用條件等問題，一般說來是比較複雜的。但是只要我們細心地研究當地的地質構造、岩性、岩層破碎、節理程度和產狀特征等問題，並結合當地各種自然或人工因素的影響，詳細綜合地進行分析，找出促使其發生和發展的原因，同時用當地同類的過程，或正在發展的現象及訪問資料加以對證，那我們是可能正確的作出工程地質評價的。